

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽE

Měření opotřebení keramických břitových destiček.

Tool Wear Measuring of Ceramic Cutting Inserts.

Student:

Daniel Skokan

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Skokan**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Měření opotřebení keramických břitových destiček**
Tool Wear Measuring of Ceramic Cutting Inserts

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor experimentu.
3. Zpracování naměřených hodnot.
4. Vyhodnocení experimentu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK Marián.
Experimentálne metódy v trieskovom obrábání. Žilina : EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.
SANDVIK Coromant, technická redakce. *Průručka obrábění.* Praha : Scientia s.r.o. Praha, 1997, 910 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
WHITNEY, E. Dow. *CERAMICS CUTTING TOOLS – Materials, Development and Performance.* Gainesville : Noyes Publications, 1994. 353 s. ISBN 0-8155-1355-0.
KOCMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie Obrábění.* Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270s. ISBN 80-214-1996-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl**


Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. Dr. Ing. Josef Brychta
vedoucí katedry






prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. 5. 2010


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo,
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. 5. 2010


.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Daniel Skokan

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Lípová 323

Český Těšín – Mosty

735 62

ANOTACE BAKALAŘSKÉ PRÁCE

SKOKAN, D. *Měření opotřebení keramických břitových destiček : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2010, 40 s. Vedoucí práce: KRATOCHVÍL, J.

Předložená bakalařská práce se zabývá opotřebením břitu nástroje z keramických řezných materiálů při různých řezných podmínkách. Cílem je porovnat a vybrat VBD, která v experimentálním měření projevila největší trvanlivost. Zkoumaným materiálem je slitina INCONEL ®, je to těžko obrobitelný materiál z chrom-niklové slitiny. První část bakalářské práce popisuje opotřebení břitu nástroje, trvanlivost, životnost nástroje a keramické řezné materiály. V druhé části je pak popsáno a následně zhodnoceno experimentální měření.

ANNOTATION OF THESIS

SKOKAN, D. *Tool Wear Measuring of Ceramic Cutting Inserts : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2009, 40 p. Thesis head: KRATOCHVÍL, J.

The bachelor thesis deals with wear of cutting tool edge made of ceramic cutting materials during various cutting conditions. The aim is to compare and choose exchangeable cutting plate, which shows longest durability in experimental measurement. The examined material is INCONEL ® alloy, which is difficult to machine chromium-nickel alloy. The first part of the bachelor thesis describes wear of the tool edge, durability, lifetime of the tool and ceramic cutting materials. In the second part there is described and evaluated the experimental measurement.

Obsah

1	Úvod	8
2	OPOTŘEBENÍ ŘEZNÉHO NÁSTROJE	9
2.1	<i>Podstata opotřebení.....</i>	<i>9</i>
2.2	<i>Hlavní faktory ovlivňující opotřebení bříty</i>	<i>9</i>
2.3	<i>Typy (druhy) opotřebení</i>	<i>11</i>
2.4	<i>Měření opotřebení</i>	<i>11</i>
2.4.1	Přímé metody:	11
2.4.2	Nepřímé metody:	12
2.5	<i>Klasifikace typů opotřebení.....</i>	<i>13</i>
2.6	<i>Časový průběh opotřebení.....</i>	<i>15</i>
3	TRVANLIVOST A ŽIVOTNOST NÁSTROJŮ	16
4	ŘEZNÁ KERAMIKA (ŘK)	18
4.1	<i>Historie ŘK</i>	<i>18</i>
4.2	<i>Rozdělení ŘK.....</i>	<i>19</i>
4.3	<i>Výroba řezné keramiky</i>	<i>20</i>
4.4	<i>Použití ŘK.....</i>	<i>21</i>
4.4.1	Použití v oblasti soustružení	22
5	VLASTNÍ EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.....	23
5.1	<i>Použité stroje a přístroje</i>	<i>23</i>
5.2	<i>Použitý obráběný materiál.....</i>	<i>25</i>
5.2.1	Obecné informace	25
5.2.2	Oblast použití.....	27
5.3	<i>Použité řezné materiály</i>	<i>28</i>
5.4	<i>Teoretický rozbor experimentu</i>	<i>29</i>
5.5	<i>Výsledky měření.....</i>	<i>30</i>
5.5.1	DISAL D210	30
5.5.2	GREENLEAF WG-300	32
5.5.3	KYOCERA A66N	33
5.6	<i>Porovnání výsledků</i>	<i>35</i>
6	Závěry	37
7	POUŽITÉ ZDROJE	38

Seznam použitých symbolů a značek

značka	název (popis)	jednotka
A	Tažnost	[%]
Al_2O_3	oxid hlinitý	[-]
DM	diskontinuální metoda (po přerušení nebo skončení činnosti nástroje)	[-]
E	modul pružnosti	[MPa]
HV	tvrdost podle Vickerse	[-]
KB	opotřebení čela břitu	[mm]
KM	kontinuální metoda (v průběhu činnosti nástroje)	[-]
R _m	mez pevnosti	[MPa]
R _{p0,2}	mez kluzu 0,2%	[%]
ŘK	řezná keramika	[-]
Si_3N_4	nitrid křemičitý	[-]
SiC	karbid křemíku	[-]
SiO_2	oxid křemičitý	[-]
SK	slinutý karbid	[-]
SNOP	stroj, nástroj, přípravek, obrobek	[-]
T	trvanlivost	[min]
TiC	karbid titanu	[-]
VB	opotřebení hřbetu břitu	[mm]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
Y_2O_3	oxid yttria	[-]
ZrO_2	oxid zirkoničitý	[-]
a_p	hloubka řezu	[mm]
f	posuv	[mm]
n	otáčky	[min ⁻¹]
t_s	strojní čas	[s]
v_c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
ρ	hustota	[g.cm ⁻³]
T	teplota	[°C]

1 Úvod

Třískové obrábění tvoří podstatnou část strojírenské výroby, na kterou jsou navázány experimentální metody. Tyto metody slouží nejen k posouzení významných aspektů řezného procesu, ale i k ověření navrhovaných řešení a optimalizaci obrábění.

V dnešní době se čím dál více provádějí experimentální měření ve snaze nalézt širší a vhodnější uplatnění dosud známých řezných materiálů od nástrojových ocelí až po syntetický diamant. Prakticky každý druh nástrojového materiálu zaznamenal posunutí řezných podmínek k vyšším hodnotám. Je to proto, že v blízké budoucnosti nelze očekávat žádné nové řezné materiály. Výzkumné týmy na celém světě se zaměřují především na optimální použití dosud známých materiálů, s přesnějším vymezením aplikačních oblastí.

Předmětem bakalářské práce bude stanovení opotřebení VBD v závislostech na řezných rychlostech, trvanlivosti nástrojů a na použitém typu řezné keramiky. Zkoumaný řezný materiál zde byl zastoupen třemi VBD a to D210, WG-300 a A66N. Jako obráběný materiál byl použit INCONEL 718 ®, jedná se těžko obrobitelný materiál z chrom-niklové slitiny. Tyto slitiny mají dnes ve světě dosti velké uplatnění a lze u nich pro své výjimečné vlastnosti předpokládat velký rozvoj.

Podkladem pro vypracování bakalářské práce bylo provedeno experimentální měření při doporučených řezných podmínkách výrobcí VBD. Dalšími podklady byly teoretické a praktické informace nabyté během dosavadního studia.

2 OPOTŘEBENÍ ŘEZNÉHO NÁSTROJE

2.1 Podstata opotřebení

Kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje, které se projevuje jeho opotřebováním. [4]

Při obrábění dochází v důsledku řezného procesu k relativnímu pohybu nástroje a obrobku, nástroje a třísky. Nástroj je v kontaktu s obrobkem na hlavním a vedlejším hřbetě a špičce kde dochází k největšímu opotřebení. Dále dochází ke kontaktu mezi nástrojem a třískou na čele nástroje, což musí nutně vést k dalšímu opotřebení nástroje. [1]

2.2 Hlavní faktory ovlivňující opotřebení břitu

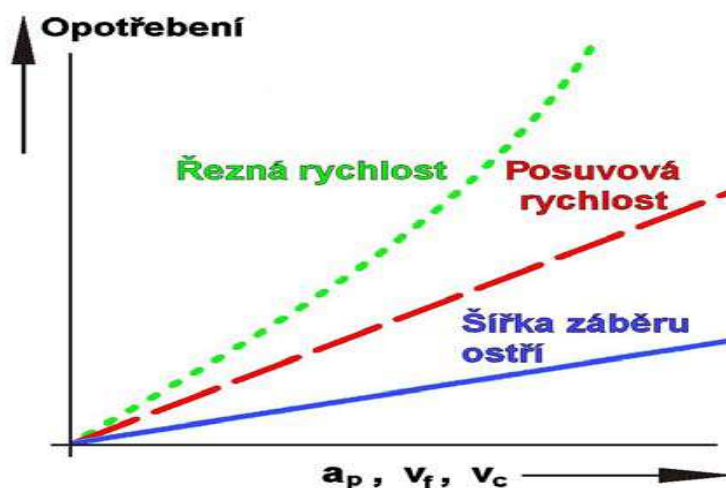
Čím déle je břit v kontaktu s obrobkem, tím více se opotřebovává. Opotřebení břitu je velmi složitý děj a je ovlivňován mnoha faktory, např.:

Teplota řezání (T) má značný vliv na opotřebení, jelikož její velikost je závislá na tření třísky po čele nástroje. Tyto tři faktory jsou spolu spjatý přímou úměrou. Tzn. čím větší tření, tím větší teplo a tím i větší opotřebení čela břitu.

Řezná rychlost (v_c) významně ovlivňuje rychlost, kterou se břit nástroje opotřebovává (obr. 1.1). Zpravidla platí, že čím víc roste, tím víc také roste opotřebení, určitá výjimka platí při HSC obrábění.

Posuv (f) má prakticky totožný vliv na opotřebení jako řezná rychlost. Vliv posuvu se projevuje hlavně na opotřebení hřbetu, jelikož hřbet nože je rychleji vtlačován do obrobku. Toto se projevuje při $f > 0,4$ až $0,5$ mm. [2]

Hloubka řezu (a_p) na opotřebení má z řezných podmínek nejmenší vliv, protože se zvětšující se hloubkou roste pouze plocha třísky (obr. 1.1).



Obr. 2.1 Vliv řezných podmínek na opotřebení [7]

Obráběný materiál má přímý vliv na opotřebování svojí strukturou a chemickým složením, ale také nepřímý vliv tím že svou plastickou deformací mění velikost tepla vzniklého třením.

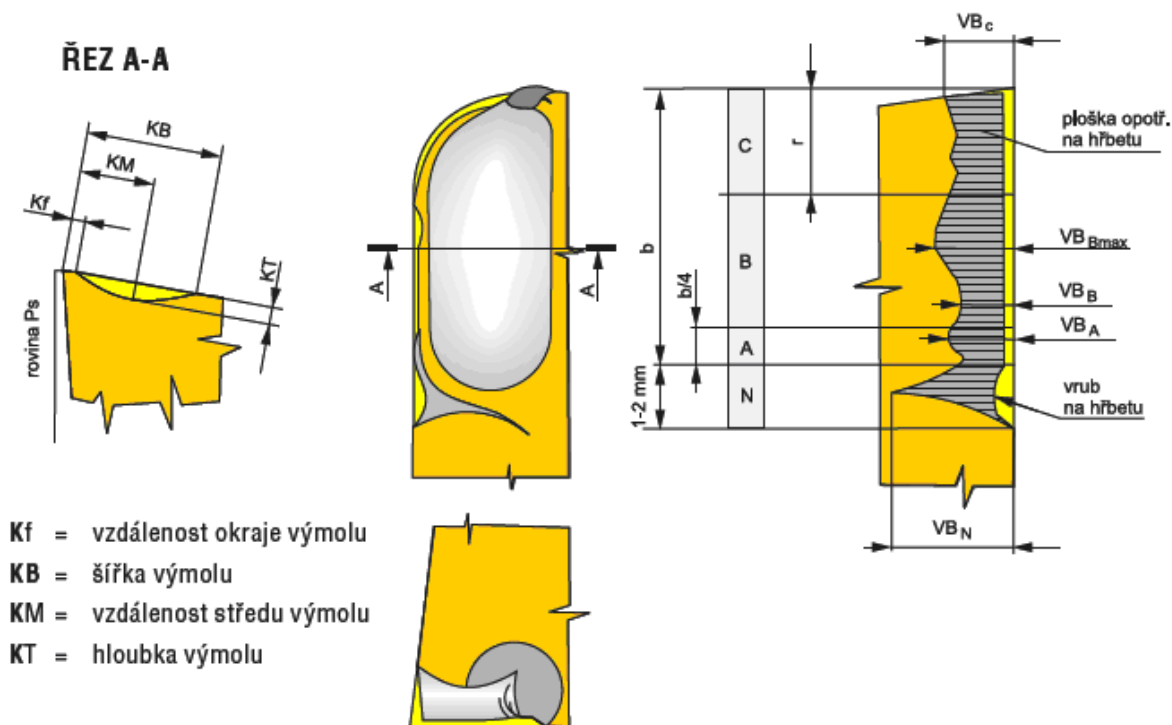
Nástrojový materiál je podmíněn svou tvrdostí, která má význačný vliv na opotřebování bříty. Čím tvrdší materiál, tím pomalejší opotřebení při stejných řezných podmínkách. Slinuté karbidy tvoří u tohoto výjimku, kde toto platí přesně obráceně.

Jakost ostří je důležitým faktorem při opotřebování bříty. Je přímo úměrná drsnosti povrchu čela a hřbetu bříty. [2]

Z řezné geometrie má na opotřebení velký vliv hlavně úhel hřbetu α a úhel čela γ a platí čím větší úhel α a γ tím menší opotřebení. Ostatní řezné úhly souvisí s teplotou v místě řezu.

2.3 Typy (druhy) opotřebení

Obr. 2.2 uvádí typy opotřebení břitu podle normy ISO 3685 spolu s označením jejich charakteristických rozměrů.



Obr. 2.2 Typy opotřebení podle normy ISO 3685 [3]

2.4 Měření opotřebení

K měření opotřebení se nejčastěji používá těchto dvou druhů metod, a to přímých a nepřímých.

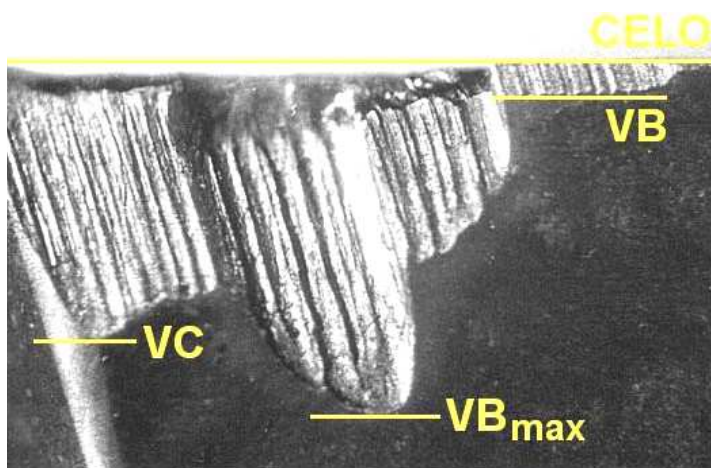
2.4.1 Přímé metody:

- měření vybraného kritéria opotřebení (DM)
(VB - pomocí dílenského mikroskopu, KT – pomocí profiloměru),
- vážení břitové destičky (DM),
- optické sledování funkční plochy (DM),
- elektrické metody (kontinuální),
- ultrazvukové metody (kontinuální),
- pneumatické metody (kontinuální),
- mikroizotopový snímač,
- měření rozměrů obrobku (kontinuální).

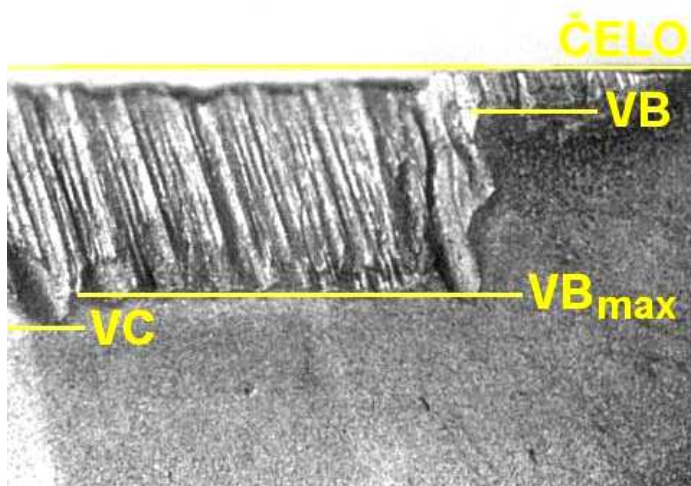
2.4.2 Nepřímé metody:

- měření a vyhodnocování jednotlivých složek řezné síly,
- měření elektrického příkonu obráběcího stroje,
- měření kmitání (amplituda kmitů, zrychlení, parametry),
- měření teploty řezání,
- měření struktury povrchu obrobené plochy (R_a , R_y , apod.),
- sledování druhotných projevů opotřebení.

V praxi jsou pro měření opotřebení nástroje nejčastěji používány metody přímého měření základních kritérií opotřebení, zejména VB a KT. Hodnoty VB jsou měřeny pomocí malého dílenského mikroskopu tak, že se nitkový kříž nastaví do základní polohy, na čáru představující čelo nástroje, a poté se přesune do polohy, kde se kryje s měřeným kritériem opotřebení (ukázky jsou uvedeny na obrázcích číslo 2.3a a 2.3b). [1]



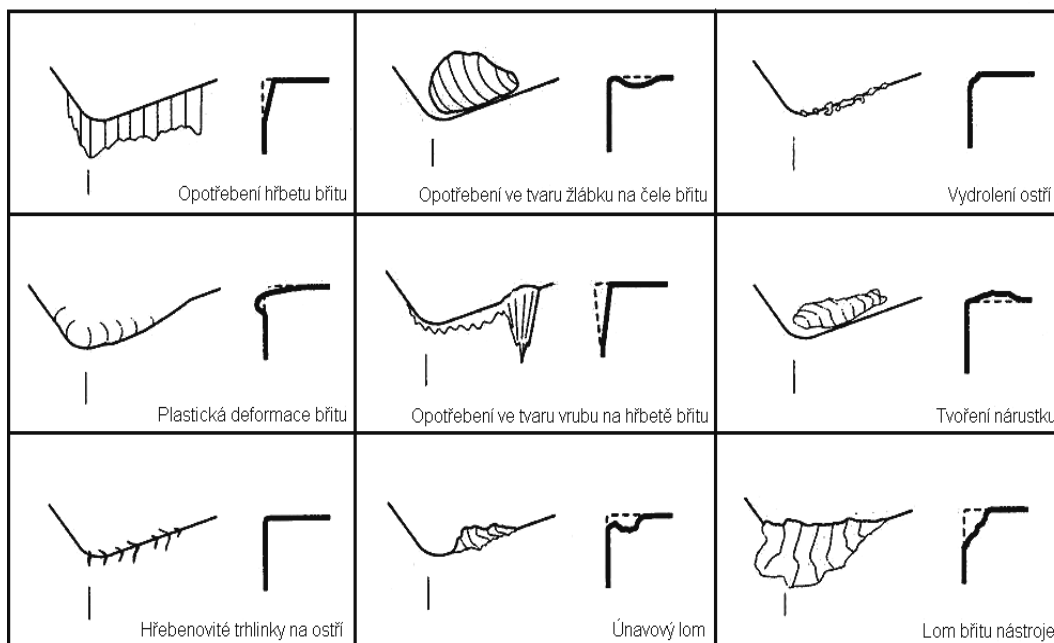
Obr. 2.3a Převládající hodnoty VC a VB_{max} [1]



Obr. 2.3b Převládající hodnota VB_{max} [1]

2.5 Klasifikace typů opotřebení

V závislosti na technologických podmínkách při obrábění, nabývá břit různých forem opotřebení obr. 2.4.



Obr. 2.4 Formy opotřebení bříty nástroje [6]

Opotřebení hřbetu bříty patří mezi abrazivní formy opotřebení a projevuje se na hřbetní ploše bříty. Příliš velké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstání tření, které vzniká změnou geometrie bříty. [4]

Opotřebení ve tvaru žlábků na čele je důsledkem působení mechanismů difúzního opotřebení a abraze. Žlábek může také vzniknout zejména difúzí v místě bříty s nejvyšší teplotou, tzn. v kontaktním místě mezi třískou a materiálem bříty. Tvrdost za tepla snižuje náchylnost k vzniku tohoto opotřebení. [4]

Vydrolení ostří je formou opotřebení, při níž se břit místo stejnosměrného opotřebení vydroluje. Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že se drobné částičky řezného nástrojového materiálu se začnou oddělovat z povrchu bříty. [4]

Plastická deformace bříty vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit. Toto opotřebení lze zmenšit použitím vhodného řezného materiálu, správnou volbou geometrie a zaoblení ostří.

Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu patří k typickým adhezním opotřebením. Může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vrubu vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky. [4]

Tvoření nárůstku může být způsobeno odlupováním vrstev v místě břitu nebo jinými formami opotřebení. Mimo změny geometrie břitu působí tato forma opotřebení negativně, protože se mohou částice materiálu odlomit společně s „navařeným“ nárůstkem, který je tvořen částicemi materiálu obrobků. Zhoršená jakost obrobeného povrchu je často prvním negativním důsledkem tvorby nárůstku. Nadměrná tvorba nárůstků vede až k lomu VBD. [6]

Vznik hřebenových trhlinek na ostří je formou únavového opotřebení, které vzniká tepelnými šoky. Trhlínky se tvoří kolmo na ostří, přitom se mohou částice řezného materiálu mezi jednotlivými trhlínkami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu. [4]

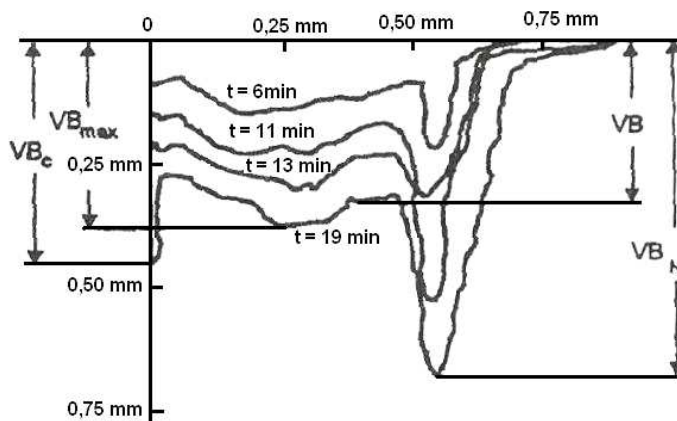
Únavový lom je typickým následkem mimořádně velkých změn velikosti řezných sil. Tento druh lomu vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, kdy působení jednotlivých zatížení není dostatečně intenzivní, aby mělo za následek křehký lom. Lomové plochy probíhají paralelně s ostřím. [4]

Lom břitu nástroje je osudným technickým koncem každého břitu. Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za každých okolností zabránit. Lom břitu nástroje je nutné v každém případě považovat za konec trvanlivosti. Změny geometrie, oslabení břitu, nárůst teplot a sil mohou vést ke značným škodám. Křehký lom může být způsoben různými faktory, často je zvolený materiál břitu málo houževnatý na to, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění. [4]

Toto jsou nejdůležitější formy opotřebení. Ne všechny případy lze považovat za formu pravého opotřebení. Je však nutné na ně nahlížet jako na příčinu, způsobující rychlý lom destičky a proto se jí musí bezpodmínečně zabránit. Vyvážené opotřebení zajišťuje optimální trvanlivost a potom je možné použít břit bezpečně, spolehlivě a s opakovatelnou přesností. [8]

2.6 Časový průběh opotřebení

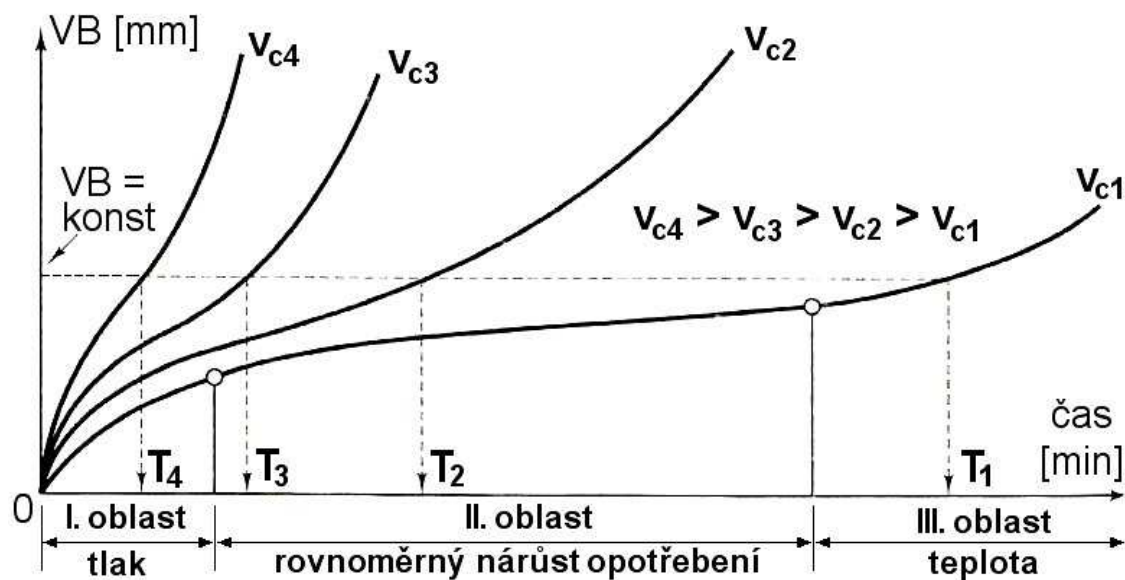
Po zařazení přestřené nebo nového nástroje do procesu obrábění u něho dochází k postupnému opotřebování. Průběh opotřebení je znázorněn na obr. 2.5.



Obr. 2.5 Příklad časové posloupnosti opotřebení hřbetu [4]

Konstrukce takovéto časové posloupnosti opotřebení je dosti složitá, proto se prezentuje jako časová závislost ($VB=f(t)$ resp. $KB=f(t)$).

Charakteristický průběh závislosti $VB=f(t)$ lze popsat třemi oblastmi, jak znázorňuje obr. 2.6.



Obr. 2.6 Časová závislost opotřebení na řezné rychlosti [7]

Na obr. 2.6 je možné porovnat tři oblasti opotřebení, a to:

1. Oblast zrychleného záběhového opotřebení.

Zrychlené opotřebení obecně souvisí se „záběrem“ nástroje, je způsobeno vysokým měrným tlakem na vrcholcích mikronerovností povrchu hřbetu. Je vyvoláno podmínkami ostření resp. slinování. [4]

2. Oblast lineárního opotřebení.

V této oblasti dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení, tzn. intenzita opotřebení je konstantní. [4]

3. Oblast zrychleného (nadměrného) opotřebení.

Počáteční bod této oblasti je obvykle spojen s limitní teplotou řezání a poklesem tvrdosti nástroje. Nastává zrychlené opotřebení, tzv. lavinovité opotřebení. [4]

Podle výše uvedeného obr. 2.6 nastává okamžik otupení v době, kdy končí lineární opotřebení a začíná zrychlené (nadměrné) opotřebení, tj. v bodě *II*. Od tohoto bodu se začne na obrobku objevovat tvarová a rozměrová nepřesnost, větší drsnost povrchu a změna barvy třísky.

Čas, který dostaneme součtem všech tří oblastí je čas po který je schopen břit spolehlivě řezat, tzv. trvanlivost.

3 TRVANLIVOST A ŽIVOTNOST NÁSTROJŮ

Každý nástroj se během své činnosti opotřebovává, postupně ztrácí ostrost, až do doby kdy se úplně otupí. Otupením nástroje zaniknou jeho řezné schopnosti a nástroj se musí naostřit. Práce s otupeným nástrojem je neekonomická, nebezpečná a v mnoha případech vede k poškození nástroje, obrobku, či dokonce stroje. [2]

Trvanlivost řezného nástroje lze definovat jako součet všech čistých časů řezání, od začátku obrábění, až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria (kritérium opotřebení a jeho hodnota musí být stanoveny tak, aby vyráběný obrobek měl požadovaný tvar, rozměry a kvalitu povrchu a to po celou dobu trvanlivosti nástroje). [7]

Trvanlivost nástroje, podobně jako opotřebení nástroje, závisí zejména na metodě obrábění (soustružení, frézování, vrtání, atd.), vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a řezných podmínkách (řezná a posuvová rychlost, šířka záběru ostří, řezné prostředí). Již počátkem 20. století zjistil Frederick Winslow Taylor, že z řezných podmínek má na trvanlivost nástroje největší vliv právě řezná rychlost a odvodil základní vztah pro vzájemnou závislost těchto dvou veličin, který je u nás znám pod názvem "závislost T- V_c " (obr. 2.2), (někdy též "Taylorův vztah") a užívá se ve tvaru: [7]

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} [\text{min}], \quad (2.1)$$

kde: C_T [-] – konstanta
 v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – řezná rychlost,
 m [-] – exponent

Životnost nástroje je pak definována jako součet všech jeho trvanlivostí, nebo taky jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení (nástroje, které lze ostřit jsou vyřazeny v případě, že byla odbroušena celá jejich funkční část, vyměnitelné břitové destičky v případě, že byly použity všechny jejich břity). Z tohoto hlediska lze tedy životnost přebroušovaného nástroje vyjádřit vztahem: [7]

$$Z = \sum_{i=1}^{x+1} T_i = (x+1) \cdot T [\text{min}], \quad (2.2)$$

kde: T_i [min] – jednotlivé trvanlivosti,
 T [min] – aritmetický průměr hodnot T_i ,
 x [-] – počet možných ostření nástroje.

Pro nástroj s mechanickým upínáním VBD se životnost stanoví dle vztahu: [7]

$$Z = \sum_{i=1}^q T_i = q \cdot T [\text{min}], \quad (2.3)$$

kde: T_i [min] – trvanlivost jednotlivých ostří destičky,
 T [min] – aritmetický průměr hodnot T_i ,
 q [-] – počet použitelných ostří VBD.

4 ŘEZNÁ KERAMIKA (ŘK)

Keramika je obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cement, cihly), ale i řezné a brousící materiály a řadu tzv. "nových" (speciálních, konstrukčních, strojírenských, průmyslových, pokrokových, příp. jinak nazývaných) keramických látek. Pro novou keramiku je charakteristické to, že je vyráběna z poměrně čistých surovin jako keramika syntetická se zrny malých rozměrů (velmi často pod $1\text{ }\mu\text{m}$). Většina látek zařazovaných pod pojem "nová keramika" jsou látky krystalické na rozdíl od tradiční keramiky (např. porcelán, glazury), která obsahuje i značný podíl skelné (amorfní) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními, obvykle se vyskytují oba typy vazby současně. V krystalové struktuře převažují složité mřížky kubické a hexagonální. [10]

4.1 Historie ŘK

Pravděpodobně vůbec první keramický nástroj byl použit již v době kamenné, kdy člověk používal pískovcové bloky obsahující velké množství SiO_2 k ostření nožů a dalších nástrojů. Tyto pískovcové kotouče se staly po dlouhou dobu brousícím nástrojem číslo jedna. [10]

Počáteční pokusy s využitím keramických řezných nástrojů sahají do 20. let minulého století (keramika na bázi oxidů), první keramický materiál na bázi Al_2O_3 použitelný pro řezný nástroj vyvinula německá firma Degussa v období II. světové války a to při výzkumných pracích zaměřených na náhradu slinutých karbidů WC-Co. Vzhledem k vysoké křehkosti byly aplikace omezeny pouze na nepřerušovaný řez a k širšímu rozšíření nedošlo taky proto, že technologie výroby nebyla zdaleka propracována tak, aby bylo možno zhotovit nástroj požadovaných vlastností. [11]

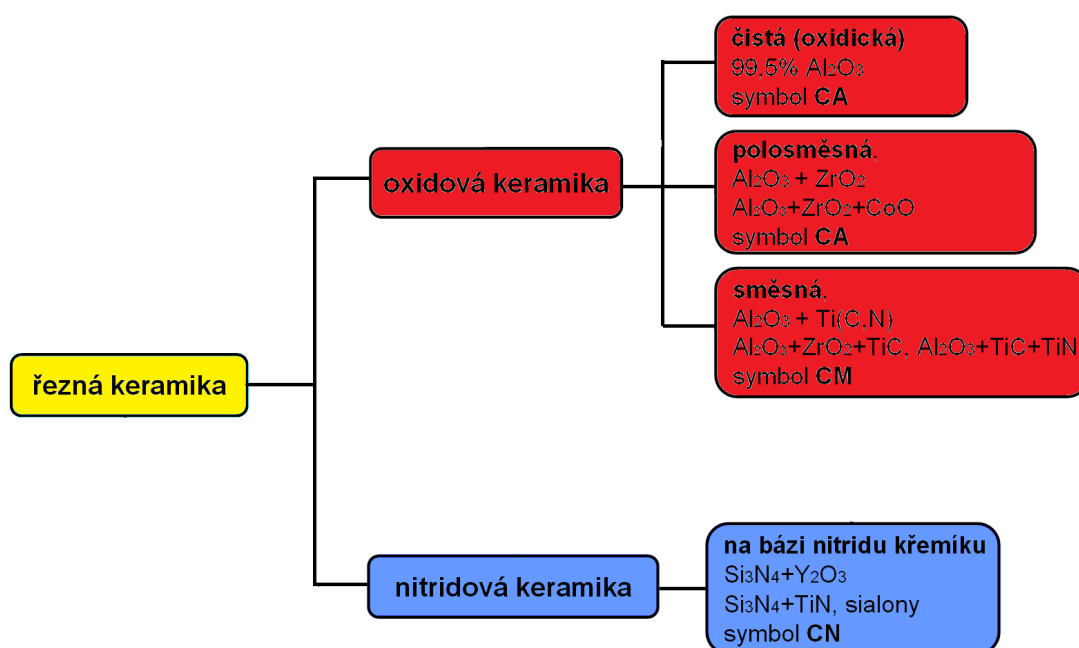
První keramické materiály na bázi oxidu hlinitého byly úspěšně aplikovány až koncem 50. let na základě intenzivního výzkumu. Ten byl zaměřen na odstranění hlavních nedostatků (hrubozrnná struktura, nízká ohybová pevnost, nízká odolnost proti teplotním rázům). Masivnějšímu rozšíření bránil i nedostatek strojů s potřebným výkonem a rozsahem otáček vřetene, a to bez ohledu na přesnost. První nástroje obsahovaly většinu oxidu hlinitého (Al_2O_3) a malé množství slinovacích přísad (obvykle okolo 1 %). [10]

Keramiky typu $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiC}$ vyráběné metodou vysokoteplotního lisování byly vyvinuty na začátku 70. let a měly zlepšit odolnost proti vydrolování a spolehlivost keramických řezných nástrojů. Jde dnes o nejrozšířenější typ řezné keramiky, která se výrazně zasloužila o vstup keramických VBD na trh řezných nástrojů. Slinovací proces se postupně změnil z vysokoteplotního lisování na vysokoteplotní izostatické lisování (HIP), aby se snížila cena nástroje a zvýšila produktivita výroby. [11]

V polovině 80. let byly vyvinuty kompozity Al_2O_3 vyztužené vlákny whiskery (SiC). Karbid křemíku má sice tendenci reagovat se slitinami železa, což zapříčiňuje větší opotřebení nástroje, ovšem přidáním jeho vláken se výrazně zvýší odolnost proti vydrolení a vylamování ostří v důsledku zpevnění a odolnosti proti oxidaci. Výsledkem jsou vynikající řezné výkony těchto materiálů při obrábění superslitin, kde hrozí nebezpečí vylamování ostří. Počátkem 80. let se na trh dostávají i první keramické nástroje na bázi Si_3N_4 . Ve srovnání s oxidickými keramikami se dají používat až při dvojnásobné posuvové rychlosti. Nevýhodou je poměrně rychlé opotřebování, zejména při obrábění ocelí a tvárné litiny. [10]

4.2 Rozdělení ŘK

Přestože neexistuje normou stanovené rozdělení řezné keramiky a každý autor uvádí své dělení, lze ji podle chemického složení rozdělit na dva základní typy (obr. 4.1):



Obr. 4.1 Rozdělení řezné keramiky

4.3 Výroba řezné keramiky

Pro výrobu řezné keramiky se jako výchozí materiály používají především:

- oxidy (Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3),
- karbidy (TiC , SiC),
- nitridy (Si_3N_4 , TiN).

Všechny tyto materiály se vyznačují velkou chemickou stabilitou a vysokou tvrdostí, tlakovou pevností a odolností proti vysokým teplotám.

Proces výroby kompaktních keramických součástí (tedy i VBD) je velmi podobný procesu pro výrobu součástí ze slinutých karbidů a cermetů. Zásadní rozdíl je ale v tom, že keramické materiály neobsahují žádný materiál, jehož funkcí by bylo spojení jednotlivých zrn tvrdé fáze do jednolitého tělesa. Tato skutečnost výrobu řezné keramiky znesnadňuje a klade vysoké nároky na výrobní zařízení. Další důležitou podmínkou úspěšné výroby je dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby. [10]

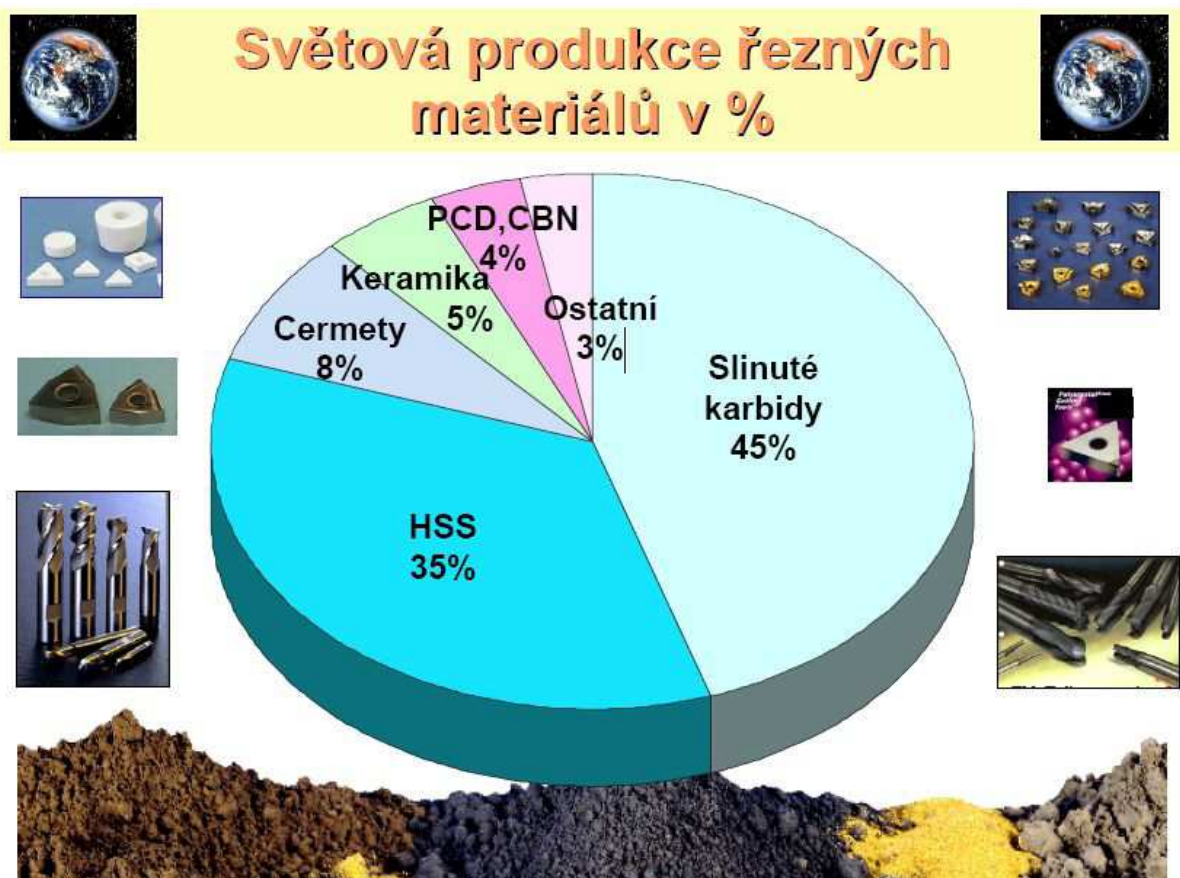
Vývoj mikrostruktury a slinovatelnost keramických materiálů je možné ovlivnit přidáním různých přísad. Tyto přísady v průběhu slinování vytvářejí kapalnou fázi. Tímto způsobem lze dosáhnout hustějšího uspořádání částic a rychlejšího i lepšího zhutnění výrobku. Velikost zrn jednotlivých keramických prášků a aditiv se pohybuje kolem $0,2 \mu\text{m}$. [10]

Obecný postup výroby keramických materiálů (obr. 3.2): [10]

- příprava práškové směsi,
- mletí,
- míchání,
- tvarování,
- sušení,
- předsunování,
- slinování,
- úpravy povrchu.

4.4 Použití ŘK

Řezná keramika patří do skupiny netradičních, ale v některých odvětvích často používaných řezných materiálů, její použití v obrábění představuje 4-5% z celkové produkce řezných materiálů (obr. 4.2).



Obr. 4.2 Světová procentuální produkce řezných materiálů [12]

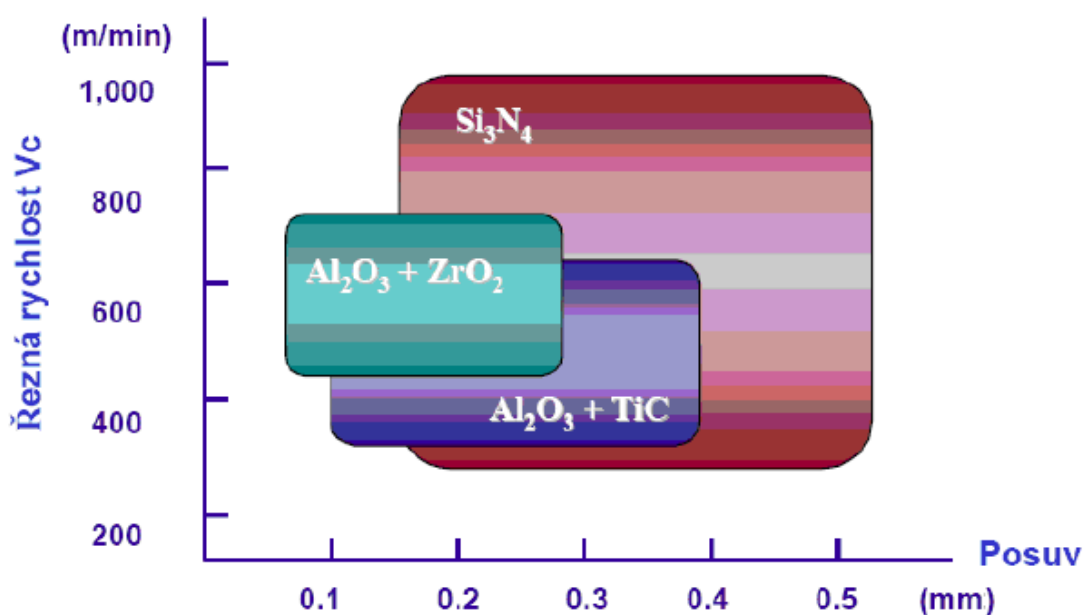
Řezná keramika patří mezi výkonné řezné materiály. Její nasazení ve strojírenské výrobě vyžaduje, mimo správné volby řezných podmínek, dodržení určitých zásad, aby mohlo být využito jejich výhodných vlastností v plné míře a nevýhodné co nejvíce potlačit. [8]

Mezi hlavní podmínky efektivního využití řezné keramiky patří: [8]

- vysoká tuhost systému stroj – nástroj – obrobek– přípravek,
- použití výkonných obráběcích strojů s širokým rozsahem posuvů a otáček s možností plynulé regulace otáček,
- zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku,
- zakrytování pracovní části obráběcího stroje,
- výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky,
- správná volba tvaru ostří břitové destičky (velikost a sklon negativní fazetky na čele).

4.4.1 Použití v oblasti soustružení

Podobně jako u slinutých karbidů uvádějí jednotliví výrobci doporučené řezné podmínky i pro soustružnické práce svých keramických břitových destiček. U keramických materiálů hraje velmi důležitou roli i otázka chlazení. U většiny druhů keramických VBD je chlazení chladicí kapalinou výslovně zakázáno. Pro obrábění tvrdých materiálů (kalené oceli, tvrzené litiny) keramickými destičkami je nutné volit poměrně nízké hodnoty hloubky řezu a_p . [10]



Obr. 4.3 Použití ŘK při soustružení [12]

5 VLASTNÍ EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

5.1 Použité stroje a přístroje

Pro vlastní obrábění byl použit univerzální soustruh bulharské výroby (obr. 5.1), který se nachází v prostorách laboratoří VŠB - TUO Ostrava.



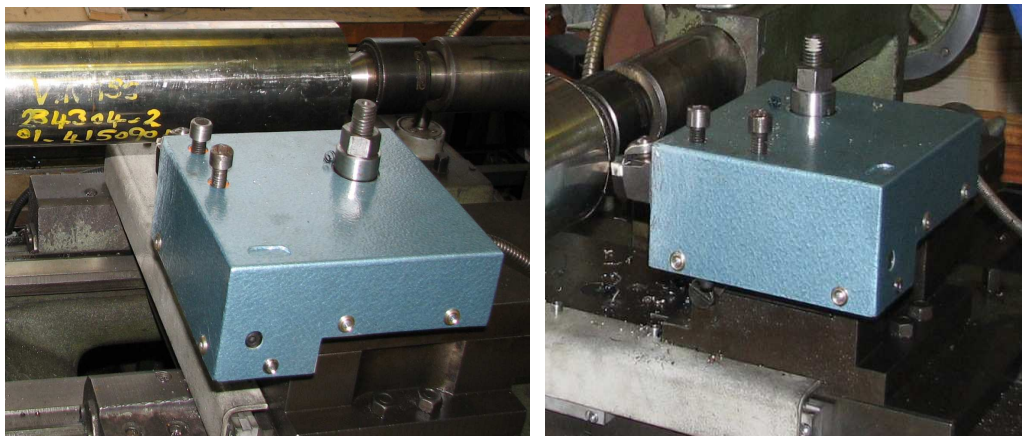
Obr. 5.1 univerzální soustruh

K měření opotřebení byl použit mikroskop s digitálním kamerovým snímacím od výrobce INTRACO Micro spol. s r.o. (obr. 5.2). Na tomto přístroji byly pořízeny snímky jednotlivých opotřebovaných VBD, ze kterých se určovaly hodnoty jednotlivých opotřebení pomocí programu Motic Image Plus 2.0 ML.



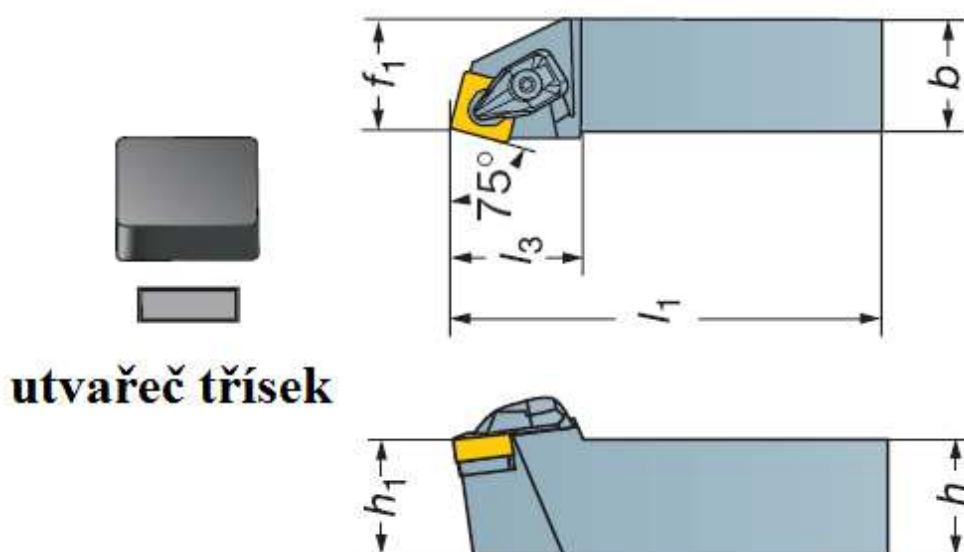
Obr. 5.2 Mikroskop s digitálním kamerovým snímáním

Tří-složkový odporový dynamometr (obr. 5.3) se používal k zachycení sil při obrábění.



Obr. 5.3 Tří-složkový odporový dynamometr

Do výše uvedeného dynamometru byl upnut nožový držák označený dle ISO **CSNR2525 M12** viz obr. 5.4.



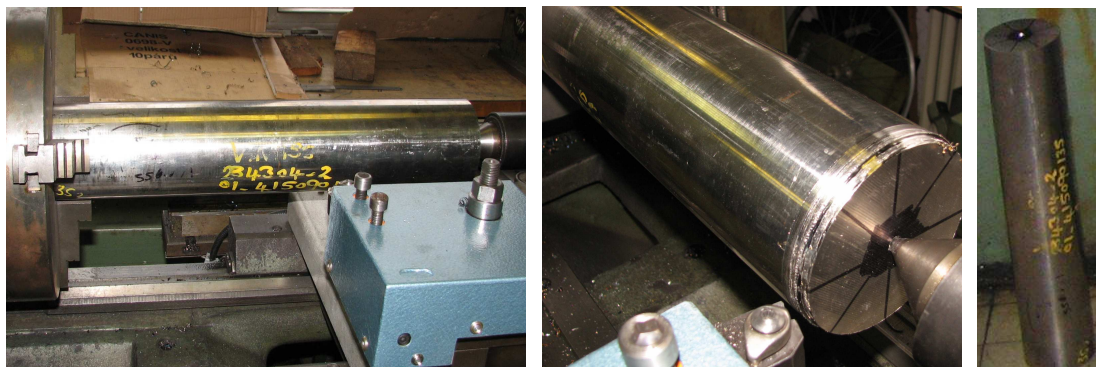
Obr. 5.4 Nožový držák typu CSNR 2525 M12 [16]

Uchycení VBD v držáku bylo realizováno pomocí uchycení typu C, kde jsou použité VBD vsazeny do lůžka nožového držáku. Břitovou destičku drží na svém místě přítláčná síla vyvinutá šroubovým spojením prostřednictvím upínky, která funguje i jako utvařec třísek.

Řezná geometrie je dána tvarem VBD a použitým nožovým držákem. Je popsána u výrobců použitých VBD a výrobce nožového držáku. Více informací v literaturách [3] a [15].

5.2 Použitý obráběný materiál

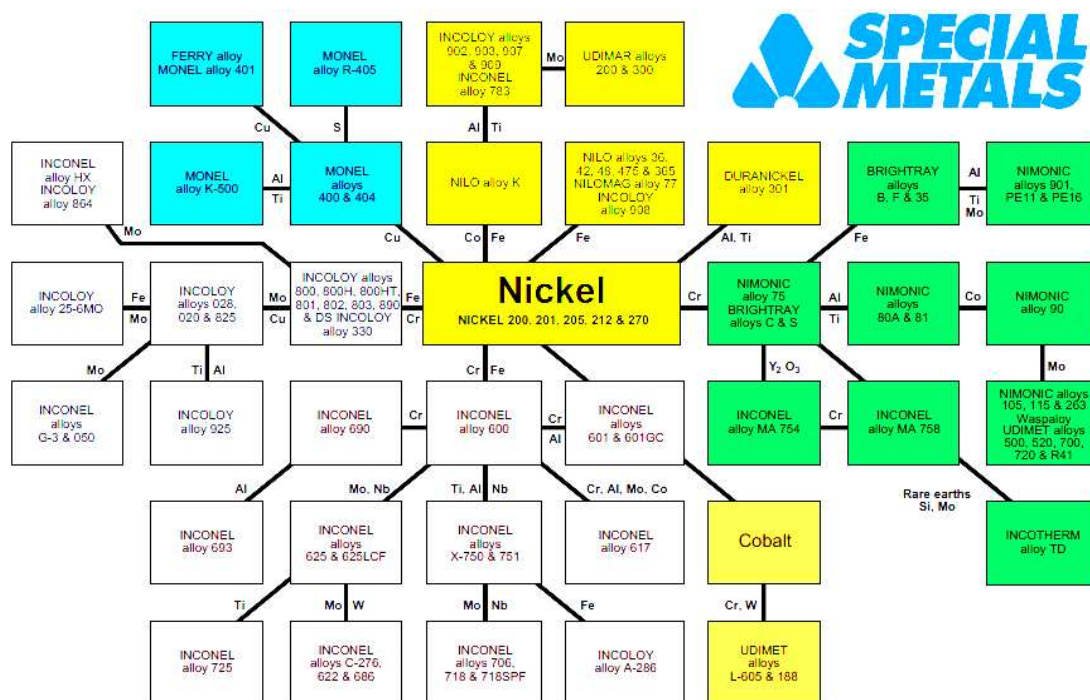
Pro toto měření byl použit materiál INCONEL alloy 718 ® o průměru 103mm a délce cca 700mm (obr. 5.7).



Obr. 5.7 Obráběný materiál INCONEL 718 ®

5.2.1 Obecné informace

INCONEL 718 ® je obchodní název stejně jako INCOLOY ®, MONEL ® a NIMONIC ®. Jsou to registrované obchodní známky společností rodiny **INCO**. Z obr. 5. 8 je možné poznat zařazení těchto materiálů.



Obr. 5.8 Nikl a jeho slitiny [14]

Jedná se o vysoko-pevnostní a vysokoteplotní materiál vyrobený z chrom-niklové slitiny obsahující značné množství železa, niobu, molybdenu a spolu s menším množstvím hliníku a titanu (viz tab. 5.1). Je odolný proti korozi s vynikající svařitelností. Slitina má vynikající creep při teplotách 700 °C. Materiál je vhodný pro dlouhodobé použití (odolává stárí) a na kryogenní teploty (teploty pohybující se v rozmezí 0°C až do teploty absolutní nuly což je -273,15°C (0° K)). Další informace jsou uvedeny u výrobců těchto materiálů viz literatura [13] [14].

Tab. 5.1 Chemické složení a fyzikální vlastnosti materiálu INCONEL alloy 718 ®

CHEMICKÉ SLOŽENÍ			FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI	
Prvek	Min [%]	Max [%]	Značka	hodnota
C	—	0.08	R_m [MPa]	1413
Mn	—	0.35	HV	425
Nb+ Ta	4.75	5.5	A [%]	20
Cr	17.0	21.0	$R_{p0,2}$	1138
Ni	50	55	ρ [g·cm ⁻³]	8,19
B	—	0.006	Bod tání [°F]	2420
Fe	zbytek		Poissonovo číslo [-]	0,284
Co	—	1	Magnetická permeabilita [-]	1,001
Ti	0.65	1.15		
Al	0.20	0.80		
Mo	2.8	3.30		
Zr	0.02	0.12		
Cu	—	0.10		
S	—	0.015		

5.2.2 Oblast použití

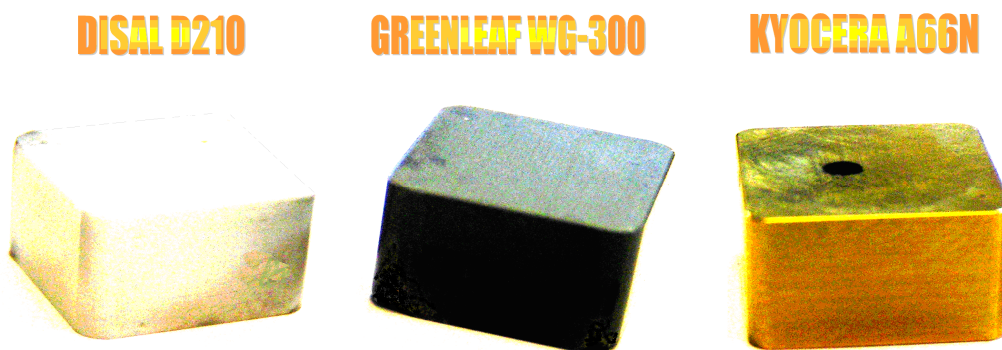
INCONEL 718 ® se pro své dobré mechanické vlastnosti používá v širokém průmyslu. Vyrábí se z něj části např.: plynových turbín, raketových motorů, kosmických lodí, jaderných reaktorů, čerpadel atd..

Vybrané využití v průmyslu a různých odvětvích:

- **při výrobě energie** je používán pro jeho korozní odolnost a pevnost při vysokých teplotách, je používány od plynových turbín přes slitiny pro přehříváky páry v tepelných elektrárnách až po jaderné strojírenství,
- **v petrochemickém průmyslu** našel uplatnění díky odolnosti vůči korozi za vysokých teplot. Je používán pro nádoby, reaktory, výměníky tepla, potrubí pro pyrolýzu, chladicí a topné hady, sběrné komory a transportní potrubí,
- **při těžbě ropy a zemního plynu** se používá na vrtné plošiny a vrtné věže. Je široce využíván od vrtných potrubí a vrtných nástrojů přes výrobní zařízení až k spalovacím stožárům,
- **v automobilovém průmyslu** se např. aplikoval spolu s niklovými slitinami u výfukových systémů, ventilů, zapalovacích jednotek a senzorů,
- **v leteckém průmyslu** se dnes široce používána pro civilní i vojenské proudové motory od hořáků přes plynové turbíny až k výfukovým systémům,
- nezbytnou oblastí použití je také **ochrana životního prostředí**. Používá se ve spalovnách komunálního a nebezpečného odpadu a pro čištění spalin jak z tepelných elektráren, tak z jakékoliv výroby.

5.3 Použité řezné materiály

Jako řezné materiály byly použity tři různé keramické VBD (obr. 5.9). Obchodní názvy těchto VBD jsou: **DISAL D210**, **GREENLEAF WG-300**, **KYOCERA A66N**.



Obr. 5.9 Použité řezné materiály

DISAL D 210 je VBD z řezné keramiky vyrobena ze směsných oxidů založená na Al_2O_3 , ZrO_2 . Nabízí vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení při vysokých teplotách s vyšší houževnatostí. Tento typ je vhodný pro obrábění šedé litiny, sférické i temperované litiny, tepelně ošetřené oceli a rychlořezné oceli s lehkým přerušeným řezem.

GREENLEAF WG-300 je patentovaná, Whiskery vyztužená, keramická VBD firmy Greenleaf s vynikající odolností proti opotřebení a nárazům při vysokých řezných rychlostech. WG-300 je velmi účinná při obrábění slitin z niklu, kobaltu a dalších tvrdých materiálů. Snese až 10 krát vyšší řeznou rychlost oproti SK.

KYOCERA A66N je VBD od firmy Kyocera vyrobená z oxidu hlinitého a karbidu titanu s TiN povlakem. Je tvrdší a více odolná proti opotřebení než běžná černá keramika. Povlaková vrstva zajišťuje větší stabilitu a zabraňuje oxidaci mezi třískou a nástrojem, což jí dodává větší životnost.

5.4 Teoretický rozbor experimentu

Před započatým obráběním a následným měřením byly provedeny tyto úkony: zkontrolován stroj, promazány pohyblivé části, upnut obráběný materiál (pro omezení házivosti byl podepřen hrotem upnutým v pinole koníku), dynamometr, řezný nástroj spolu s VBD a nastaveny doporučené řezné podmínky (viz tab. 5.2). Byly připojeny a následně spuštěny přístroje a stroje. Po opětovné kontrole a zajištění všech aspektů nutných k správnému provedení experimentu mohlo začít obrábění.

Při nastavení doporučených řezných podmínek byla odebrána tříska s prvním ostřím VBD. Po pár vteřinách byla destička vyjmuta z držáku, umístěna pod mikroskop a uložen snímek s konkrétním opotřebením. Po zjištění značného opotřebením při $v_c = 160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ byla tato rychlost snížena na $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ otočena na druhý břit, vsazena zpět do držáku a odebrána další tříska. Obrábění netrvalo vždy stejný časový úsek, jelikož otupení bylo značně rychlé a destička tak ztrácela svou řezivost. Řezné podmínky byly různé pro každý břit, ale opakovaly se pro použité VBD. Když bylo změřeno opotřebením i pro řeznou rychlost $50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, byl použitý řezný materiál vyměněn za druhý a následně třetí. Pracovní postup byl stejný jako u předchozích VBD.

Tab. 5.2 Řezné podmínky

řezné podmínky č.	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]
1	160	0,1	1
2	100	0,1	1
3	50	0,1	1

Pozn.: hloubka řezu a_p nebyla konstantní, jelikož středící důlek nebyl v ose rotace obrobku, což mělo za následek přerušovaný řez,

řezná rychlost $160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ je doporučena výrobcí použité řezné keramiky, pro nevyhovující trvanlivost byla pro další měření snížena na menší.

5.5 Výsledky měření

Všechny použité parametry a naměřené hodnoty opotřebení v experimentálním měření jsou uvedeny v tab. 5.3.

Tab. 5.3 Hodnoty experimentálního měření

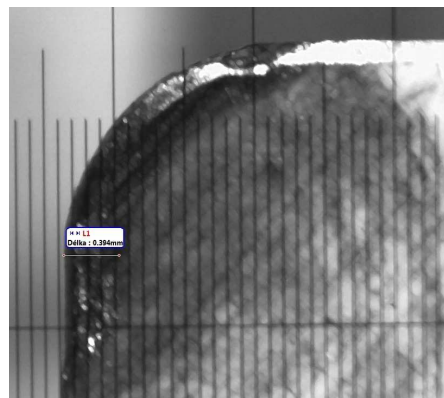
destička	řezné podmínky			opotřebení		čas		
	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	KB [mm]	$VB_{Max.}$ [mm]	t_s [s]	$VB_{Opt.}$	$KB_{Opt.}$
DISAL D210	160	0,1	1	0,294	0,386	4	0	5
	100	0,1	1	0,448	1,227	13	6,4	8,8
	50	0,1	1	0,645	1,502	20	8	9,4
GREENLEAF WG-300	160	0,1	1	0,487	0,857	8	5,5	5
	100	0,1	1	0,479	0,606	13	13	8
	50	0,1	1	0,811	1,278	33	16	12
KYOCERA A66N	160	0,1	1	0,766	3,82	30	5	12
	100	0,1	1	0,515	2,522	44	11	26
	50	0,1	1	0,32	1,395	45	19	42

5.5.1 DISAL D210

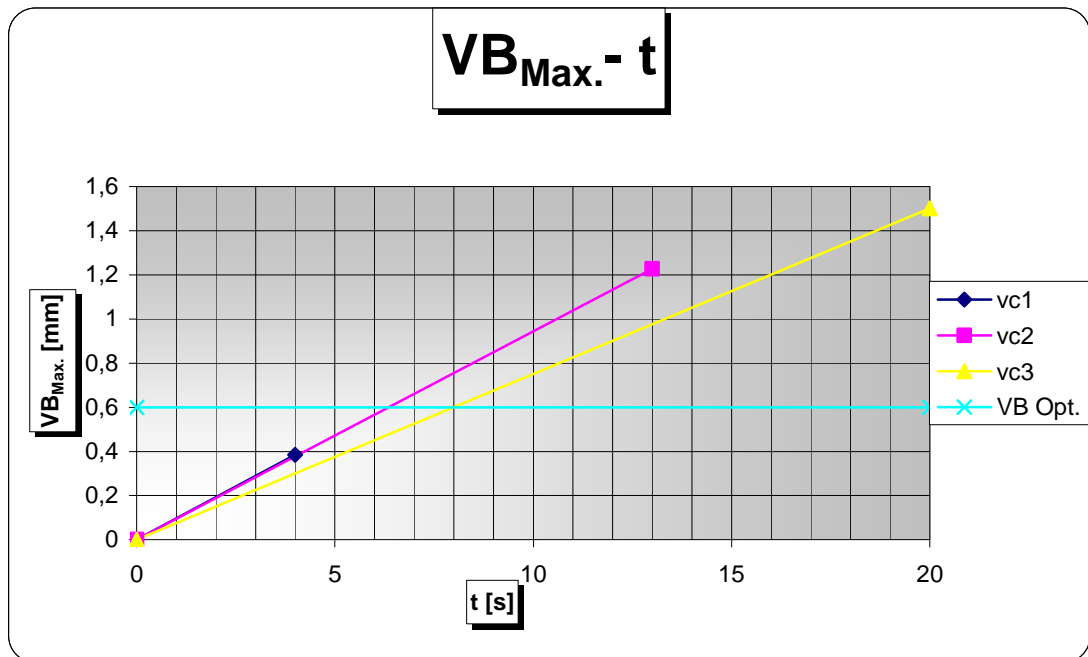
Při obrábění touto VBD byly použity řezné podmínky z tab. 5.2. Po nastavení řezných podmínek a najetí do obrobku se celá soustava značně rozvibrovala, příčinou pravděpodobně bylo radiální házení a nedostatečná tuhost soustavy. Strojní časy byly poměrně krátké, jak uvádí tab. 5.3, proto není zcela přesně možné stanovit závislost v_c na čase. Grafické znázornění opotřebení je na obr. 5.12 a 5.13.



Obr. 5.12 Opotřebení VB VBD D210

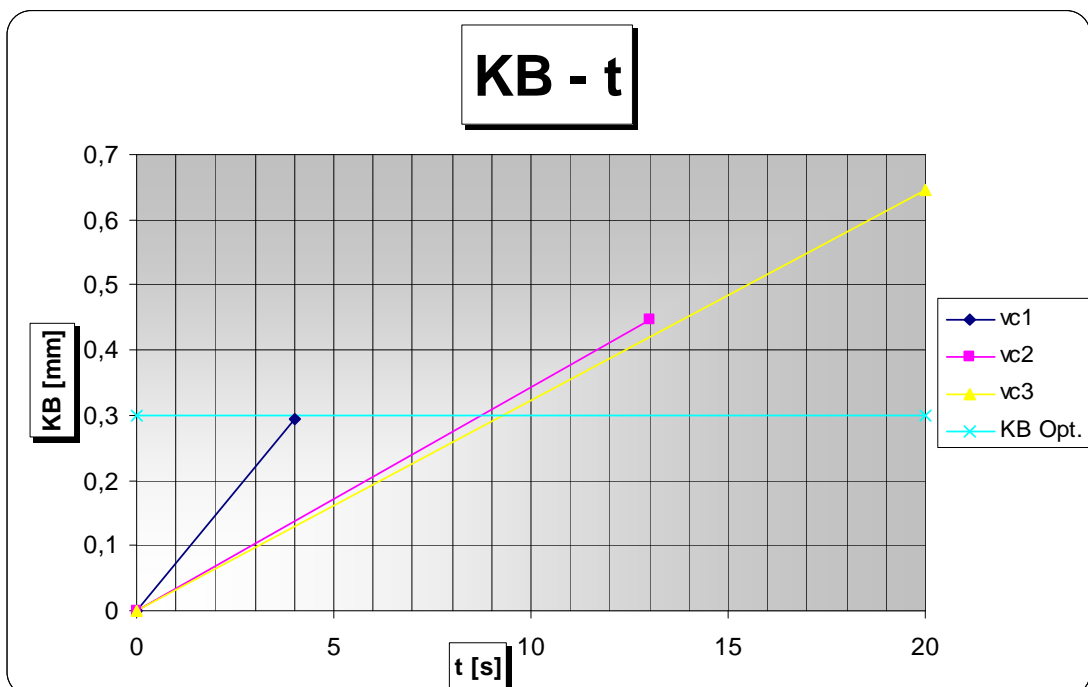


Obr. 5.13 Opotřebení KB VBD D210



Obr. 5.10 Závislost opotřebení hřbetu na čase

Při pohledu na obr. 5.10 je vidět že s $v_c = 160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ nebylo dosaženo optimálního opotřebení pro krátký čas obrábění, tudíž nelze určit optimální trvanlivost při této řezné rychlosti.

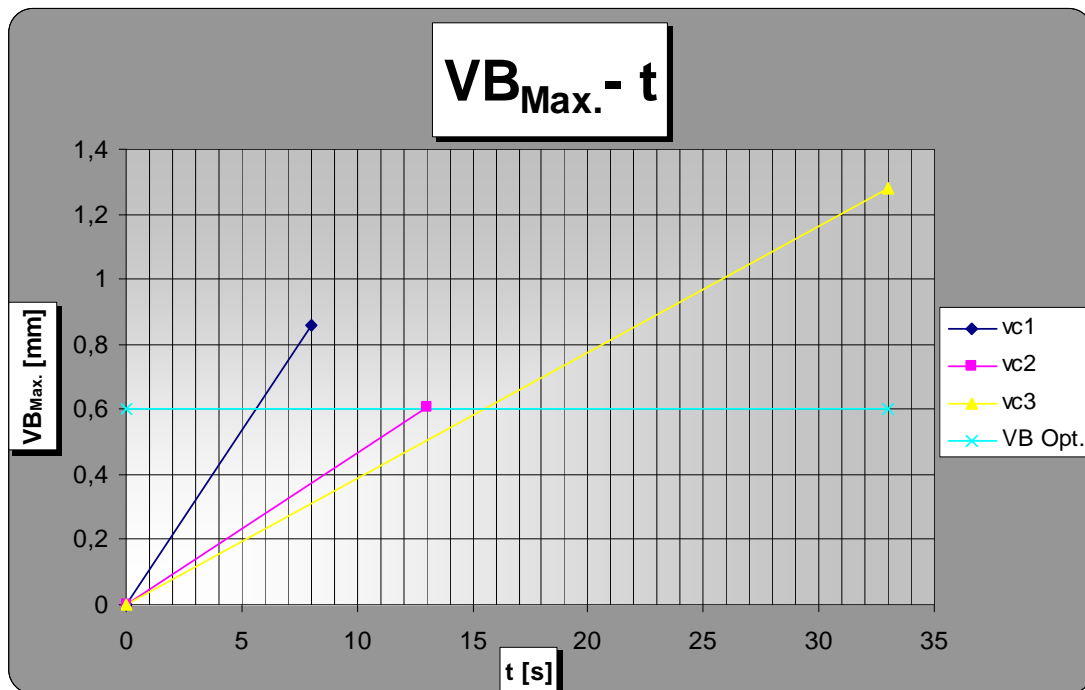


Obr. 5.11 Závislost opotřebení čela na čase

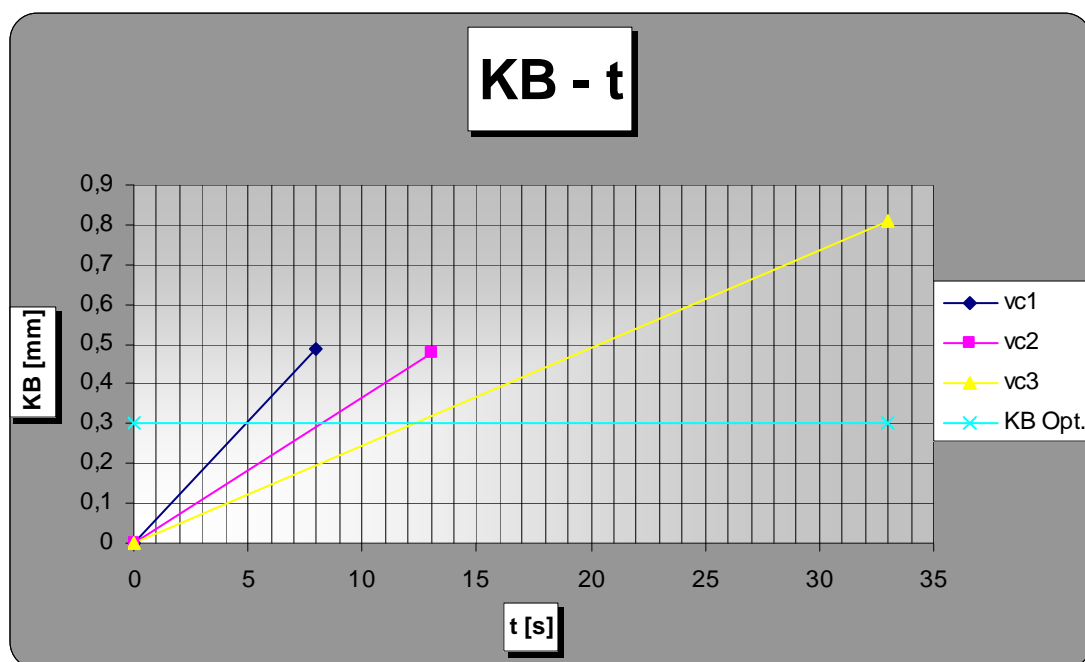
V obr. 5.10 a 5.11 je možné si všimnout poměrně malé míry opotřebení vzhledem k dalším použitým VBD. Malé hodnoty opotřebení jsou v důsledku krátkých strojních času dosahovaných při obrábění.

5.5.2 GREENLEAF WG-300

Zjištěné hodnoty opotřebení pro obrábění tímto materiálem je možno nalézt v tab. 4.3 a grafické znázornění je na obr. 5.16 a 5.17. Výsledky měření byly v tomto případě také nepříznivě ovlivněny radiálním házením a nedostatečnou tuhostí soustavy (SNOP).

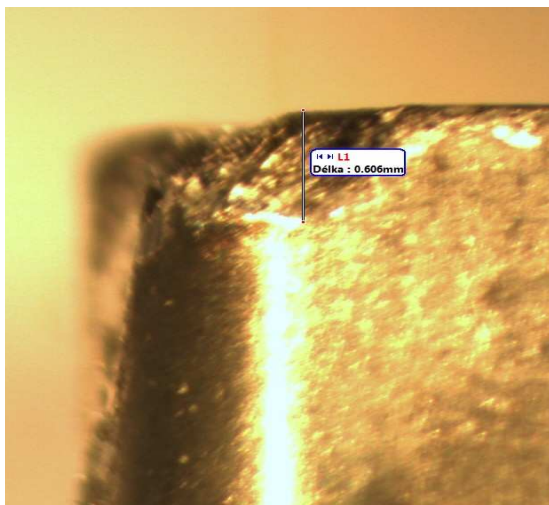


Obr. 5.14 Závislost opotřebení hřbetu na čase

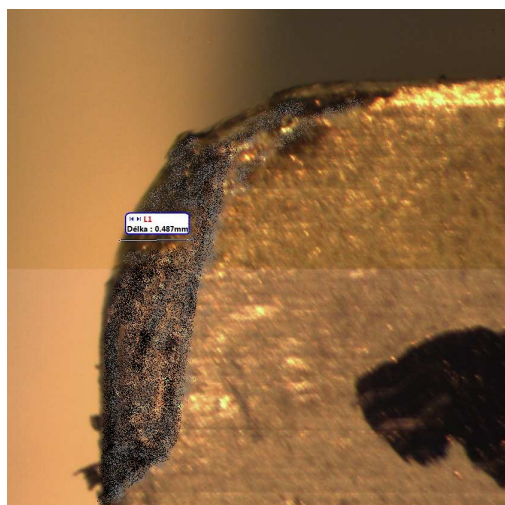


Obr. 5.15 Závislost opotřebení čela na čase

Z obr. 5.14 a 5.15 je patrná rozdílná trvanlivost nástroje při řezné rychlosti $50\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ oproti jiným VBD při poměrně rovnoměrně narůstajícím časovém odstupu.



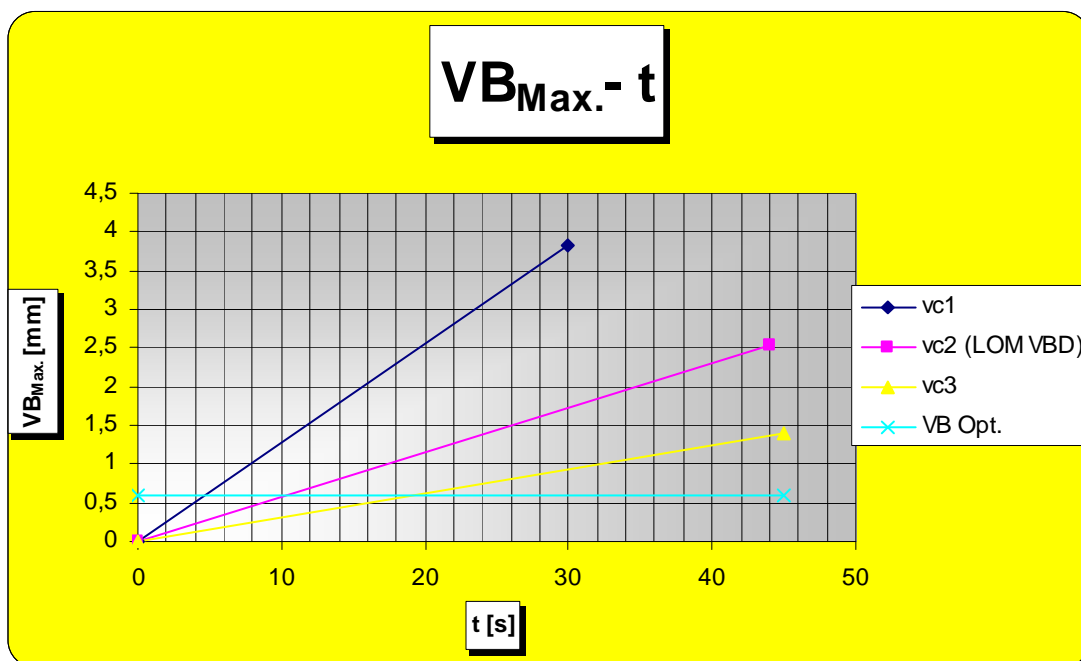
Obr. 5.16 Opotřebení VB VBD WG-300



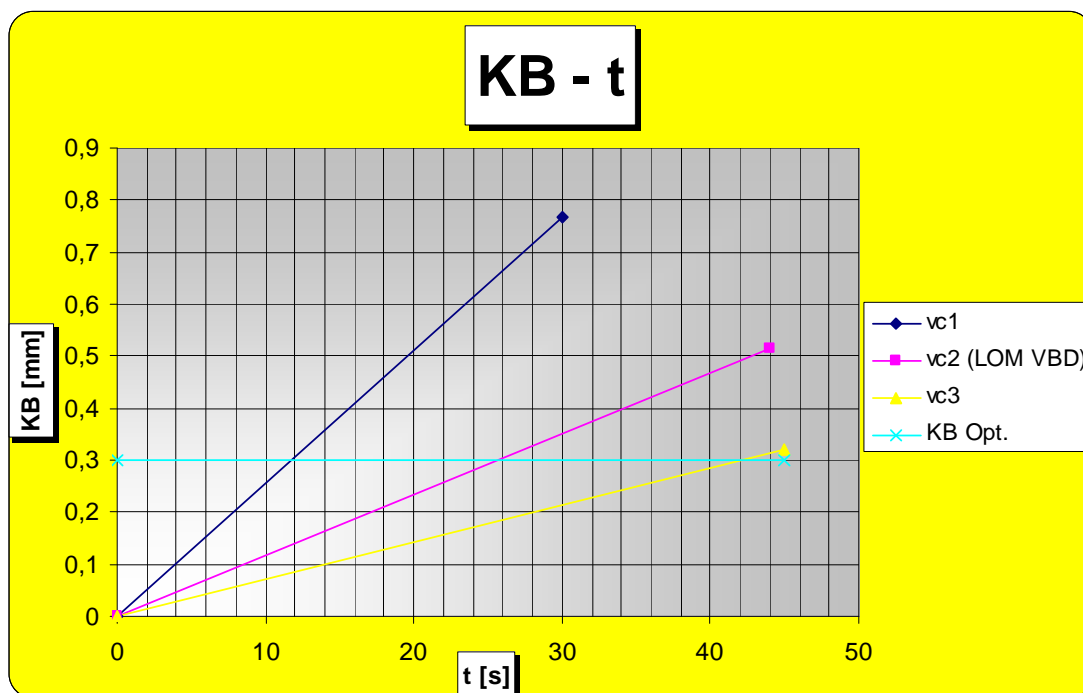
Obr. 5.17 Opotřebení KB VBD WG-300

5.5.3 KYOCERA A66N

Při použití tohoto řezného materiálu bylo zjištěno poměrně velké opotřebení. Příčinou je nejdelší čas, po který byla VBD v řezu a to až 42s. Při použití VBD A66N a řezné rychlosti $100\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ nastal po 44s lom, což přibližně odpovídá obrobené délce 23mm. Grafické znázornění opotřebení je na obr. 5.20 a 5. 21.

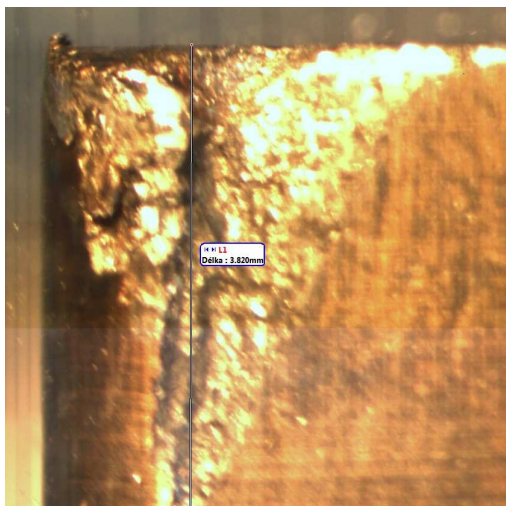


Obr. 5.18 Závislost opotřebení hřbetu na čase

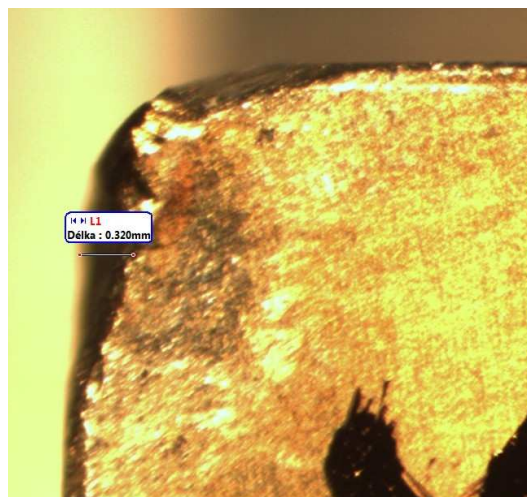


Obr. 5.19 Závislost opotřebení čela na čase

Jak je možné pozorovat na výše uvedených závislostech opotřebení na čase, řezné rychlosti nemají klasický průběh jako na obr. 2.6. Toto je způsobeno jedním časovým úsekem, ve kterém bylo opotřebení sledováno. Pro sestavení charakteristické křivky řezné rychlosti by bylo potřeba více statistických údajů o čase a míře opotřebení v těchto časech.



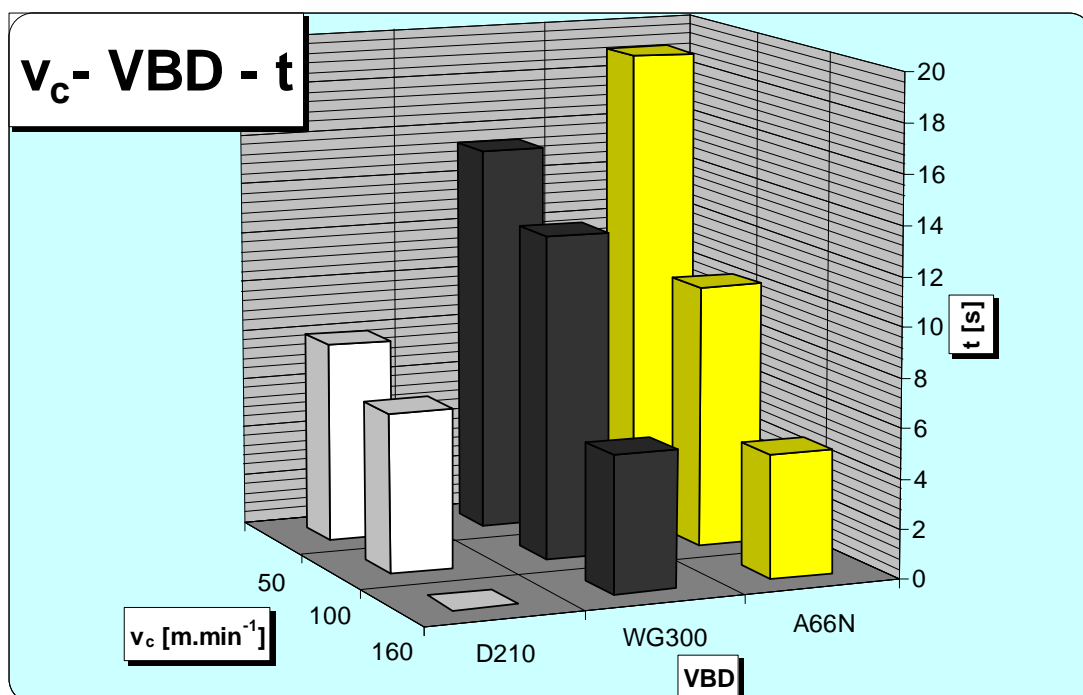
Obr. 5.20 Opotřebení VB VBD A66N



Obr. 5.21 Opotřebení KB VBD A66N

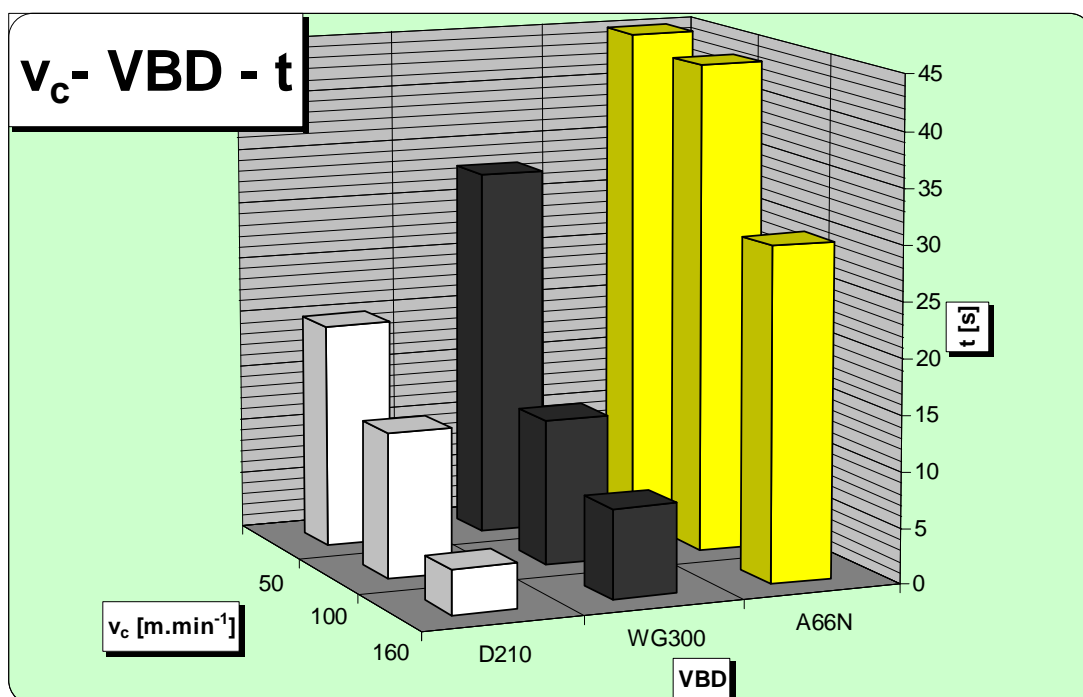
5.6 Porovnání výsledků

Pro lepší přehlednost porovnání jednotlivých VBD a řezných rychlostí jsou výsledky graficky znázorněny v závislosti na čase, za který dosáhli optimálního opotřebení (obr. 5.22 a 5.23). Výsledky jsou zde značně ovlivněny nepřesným odečtem trvanlivostí z křivky závislosti řezné rychlosti na čase, to je z důvodu jiného průběhu křivky, než je pro tuto křivku charakteristické na obr. 2.6.



Obr. 5.22 Porovnání trvanlivosti jednotlivých VBD a v_c pro VB

V obr. 5.22 je možné pozorovat poměrně malé trvanlivosti, kterých bylo dosaženo pro optimálního opotřebení VB. To svědčí o těžko obrobitelném materiálu. Dále můžeme vidět, že při použití VBD D210 a $v_c = 160 \text{ m.min}^{-1}$ nebylo vůbec dosaženo VB_{opt} . Je to způsobeno nedostatečnou trvanlivostí nástroje při těchto podmínkách. Naopak největší trvanlivosti bylo dosaženo při použití VBD A66N a $v_c = 50 \text{ m.min}^{-1}$.



Obr. 5.23 Porovnání trvanlivosti jednotlivých VBD a v_c pro KB

Z výše uvedeného obr. 5.23 jsou patrné trvanlivosti, za kterých bylo dosaženo opotřebení KB. Můžeme také vidět, že při použití VBD D210 a $v_c = 160 \text{ m.min}^{-1}$ byla dosažena nejmenší trvanlivost nástroje. Naopak největší trvanlivosti bylo dosaženo při použití VBD A66N a $v_c = 50 \text{ m.min}^{-1}$.

Z hlediska trvanlivosti lze podle obr. 5.22 a 5.23 doporučit VBD Kyocera A66N. Dobrých výsledků dosahuje také VBD Greenleaf WG-300.

6 Závěry

Cílem této bakalářské práce bylo otestovat tři druhy řezné keramiky, které jsou zastoupeny použitými VBD. Dále doporučit nejvhodnější ze zkoumaných VBD pro obrábění použitého materiálu INCONEL alloy 718 ® spolu s nejvhodnějšími řeznými podmínkami.

Na základě naměřených hodnot byly porovnávány trvanlivosti tří VBD při použití tří řezných podmínek, které se opakovaly pro všechny použité řezné materiály.

Bylo zjištěno, že výrobci obráběného materiálu doporučená řezná rychlost $160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ je pro tak těžko obrobitelný materiál jako je INCONEL alloy 718 ® značně vysoká. Toto dokládá výsledná trvanlivost jednotlivých VBD. Při obrábění bylo možné vidět „jiskření“ z čehož je možné odhadovat jak vysokých teplot dosahovaly třísky při použitých řezných rychlostech.

Z hlediska trvanlivosti břitu nástroje bych doporučil VBD Kyocera A66N. Tato destička prokázala nejdelší trvanlivost hřbetu 19s a nejdelší trvanlivost čela 42s při řezných podmínkách (řezná rychlost $v_c = 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, posuvu $f = 0,1 \text{ mm}$ a hloubce řezu $a_p = 1 \text{ mm}$). Ve srovnání s dalšími použitými řeznými materiály byla trvanlivost hřbetu VBD A66N o přibližně 42% větší než VBD WG-300 a zároveň o přibližně 74% větší než VBD D210. U VBD A66N byla trvanlivost čela o 38% větší než VBD WG-300 a zároveň o přibližně 71% větší než VBD D210.

Výsledky jsou značně ovlivněny nedostatkem statisticky nezbytných hodnot opotřebení v závislosti na čase, proto se v těchto závislostech objevuje přímka na místo charakteristické křivky jako na obr. 2.6. Dalším ovlivněním výsledků je radiálním házením obrobku, nedostatečná tuhost soustavy (SNOP) způsobená hlavně stářím stroje, ale taky použití dynamometru místo nožové upínky. Použití dynamometru bylo však nezbytné pro zachycení sil při obrábění, kterými se zabýval ve své bakalářské práci spolužák Lukáš Přikryl.

Tomuto tématu bych se chtěl i nadále věnovat v případné diplomové práci. Pro další zkoumání a získání optimálnějších výsledků bude nutné odstranit výše uvedené ovlivňující nedostatky a získat více statistických dat.

7 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] FOREJT, M., HUMÁR, A., PÍŠKA, M., et.al. *Experimentální metody: Syllabus*. [online]. Brno: VUT Brno Fakulta strojního inženýrství, 2003 [cit. 2010-03-12]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/experimentalni_metody__cviceni_forejt_piska_humar_janicek.pdf>.
- [2] ROČEK, Vladimír. *Příručka obrábění*. 1.vyd. Praha: SNTL Nakladatelství technické literatury, 1973. 227 s.
- [3] PRAMET. *Příručka obrábění* [online]. 2004 [cit. 2010-03-12]. Dostupné z WWW: http://ns.pramet.com/download/katalog/pdf/prirucka_cz.pdf. 100 s.
- [4] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2.vyd. Brno : VUT, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [5] JURKO, J. *Opatrebenie rezných nástrojov*, Prešov : [s.n.], 2005, ISBN 80-8073-255-8.
- [6] Sandvik Coromant. *Příručka obrábění*. Praha: Scientia. 1997. 910 s. ISBN 91-97-22-99-4-6.
- [7] HUMÁR, A. *Technologie i technologie obrábění : 1. část*. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie".
- [8] ČEP, R. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky při přerušovaném řezu : Doktorská disertační práce*. Ostrava: Fakulta strojní VSB-TU, 2005. 40s.
- [9] AITKEN, Hugh G. : *Scientific Management in Action, 1908-1915* [online]. Cambridge : Harvard University Press, 1960 [cit. 2010-04-14]. Dostupné z WWW: <<http://history.sandiego.edu/gen/soc/taylor.html>>.
- [10] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., et.al. *Technologie II : 1. díl*. 1.vyd. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava 2007. 126 s. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [11] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno: CCB, 1995. 256 s. ISBN 80-85825-10-4.
- [12] ATeam. *Keramika* [online]. Poslední revize 14.12.2006. c2006 [cit. 2010-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf>>.
- [13] Metal suppliers online. *Super Alloy Inconel 718 : Prices, Availability, Fabrication & Property Data* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z

WWW:

<<http://www.suppliersonline.com/Research/Property/result.asp?FamilyID=15&MetalID=2255&Chemical=1&Physical=1&Mechanical=1>>.

- [14] BIBUS. *Niklové slitiny* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <http://new.bibus.cz/pdf/Special_Metals/Nikl/Niklove_slitiny.pdf>.
- [15] Saint-Gobain Advanced Ceramics. *Keramické řezné materiály* [online]. 2010 [cit. 2010-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=en>>.
- [16] Sandvik Coromant. *Produkty* [online]. 2010 [cit. 2010-05-15]. Dostupné z WWW: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/metalworking_products_061/main_a_17.pdf>.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, kterým je Ing. Jiří Kratochvíl za poskytnutí cenných rad a za profesionální pomoc při experimentálním měření a zároveň jeho vypracování. Mé díky za pomoc při experimentálním měření také patří internímu doktorandovi, kterým je Ing. Ryszard Konderla a spolužákovi, kterým je Lukáš Přikryl. Zároveň bych chtěl poděkovat VŠB- TU Ostrava, která mi poskytla literaturu, stroje a přístroje pro vytvoření experimentální části.

V Ostravě, dne 20. 5. 2010

Daniel Skokan